Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ)
des Instituts für Klinisch-Theoretische
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

LICHT- UND RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN VON ZÄHNEN DES GRAUEN RIESENKÄNGURUHS (MACROPUS GIGANTEUS)

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Joachim Sitte
aus Berlin

1985

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ)
des Instituts für Klinisch-Theoretische
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches für Zahn-, Mund-und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

LICHT- UND RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN VON ZÄHNEN DES GRAUEN RIESENKÄNGURUHS (MACROPUS GIGANTEUS)

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Joachim Sitte
aus Berlin

Referent : Professor Dr. med. dent. HANS LENZ

Korreferent: Professor Dr. med. HANS-JOACHIM MERKER

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der
Freien Universität Berlin

Promoviert am: 26.6.85

MEINEN ELTERN

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung	7
II.	Literaturübersicht	8
III.	Material und Methode	11
IV.	Ergebnisse	13
	Abbildungen	19
V.	Diskussion	47
VI.	Zusammenfassung	54
VII.	Literaturverzeichnis	55

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549619_0036

I. Einleitung

Im Gegensatz zu allen anderen Säugetieren (Mammalia) befinden sich im Zahnschmelz der Beuteltiere (Marsupialia) kanalähnliche Strukturen, die im folgenden als "Kanälchen" bezeichnet werden. Offenbar handelt es sich um ein in der Phylogenese der Beuteltiere aufgetretenes Phänomen, das bei allen Arten, mit Ausnahme einer (Wombatus ursinus), auftritt.

In früheren Untersuchungen konnte noch nicht eindeutig geklärt werden, wie es zur Entstehung der Kanälchen kommt. Ebenso unklar ist, ob diese Schmelzkanälchen mit den Dentinkanälchen, über die Schmelz-Dentin-Grenze hinweg, in Verbindung stehen, und ob sie die Zahnoberfläche erreichen.

In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, durch Untersuchung der Ultrastruktur von Schmelz und Dentin des grauen Riesenkänguruhs (macropus giganteus), zur Lösung dieser Probleme beizutragen. Hierbei sollen das gegenüber dem Lichtmikroskop erheblich höhere Auflösungsvermögen des Rasterelektronenmikroskops und die Möglichkeit der räumlichen Darstellung durch die große Tiefenschärfe ausgenutzt werden.

II. Literaturübersicht

Bereits im Jahre 1849 entdeckte John Tomes Kanälchen, die seiner Meinung nach nur dem Dentin entstammen konnten, im Zahnschmelz von fast allen Beuteltieren. Eine Ausnahme bildete lediglich der Wombat, bei dem nur die bei jedem Tier zu findenden Dentinkanälchen vorhanden waren.

Seit dieser Zeit waren die Schmelzkanälchen noch mehrmals das Ziel wissenschaftlicher Untersuchungen, in deren Verlauf zwei Theorien hinsichtlich ihrer Entwicklungsgeschichte entstanden sind. Eine Gruppe von Wissenschaftlern ist der Ansicht, daß die Kanälchen vom Schmelz abstammen und durch Ameloblasten gebildet werden. Lester (1970) meint zum Beispiel, daß die Ameloblasten sich bei der Schmelzgenese zentrifugal unter Zurücklassung der Schmelzkanäle zurückziehen. Er entdeckte in den Schmelzkanälchen membranähnliche Strukturen, die sich in den Ameloblasten fortzusetzen schienen. Dem steht jedoch die Aussage von Gustavsen (1972) entgegen, der in den Schmelztubuli der inneren Schmelzschichten membranähnliche Strukturen beobachtete, die in die Odontoblastenfortsätze überzugehen schienen. Diese andere Gruppe von Wissenschaftlern glaubt, daßdie Schmelzkanälchen Verlängerungen der Odontoblastenfortsätze sind und sie somit vom Dentin abstammen. Dazu gehören außer Gustavsen (1972) noch

G.Fosse und N.Holmbakken (1971) sowie S.Risnes und G.Fosse (1974). Letztere fanden fast überall identische Verlaufsrichtungen der "Schmelztubuli" und der in der Nähe befindlichen Schmelzprismen, von denen es allerdings einige Abweichungen gab. Sie beobachteten nämlich einige "Schmelztubuli", die in ihrem Verlauf die Prismenrichtung kreuzten. Davon ausgehend, daß ein Schmelzprisma von einem Ameloblasten gebildet wird, meinten sie, die These des ameloblastischen Ursprunges der Schmelzkanälchen widerlegt zu haben, da ja ein Ameloblast nicht ein Schmelzprisma und ein Schmelzkanälchen unterschiedlicher Verlaufsrichtung bilden könne. Sie lokalisierten die Schmelzkanälchen in den Prismen, an einer "Zwischenschicht" zwischen den Prismen und der interprismatischen Substanz und in der interprismatischen Substanz.

Daraus entwickelten sie ihre These vom dentinalen Ursprung der "Schmelztubuli", wonach Odontoblastenfortsätze die sich entwickelnde Schmelzmatrix vor der Mineralisierungsfront aktiv durchdringen sollen. Diese These würde auch die Annahme einer Verbindung zwischen Schmelzkanälchen und Dentinkanälchen unterstützen, die die Autoren bezugnehmend auf A.Boyde und K.S.Lester (1967) als Tatsache vorausgesetzt haben. Boyde und Lester führten u.a. Diffusionsversuche durch, bei denen sie Farbstoffe in die Pulpa

in situ befindlicher ausgewachsener Zähne plazierten. Hierbei stellten sie fest, daß zwar die Dentinkanälchen, nicht aber die Schmelzkanälchen von den Farbstoffen erreicht wurden. Trotzdem glaubten sie an eine Verbindung zwischen Schmelz- und Dentinkanälchen, da sie meinten, auf Stereobildern einen Übergang erkennen zu können.

In allen bisherigen Arbeiten ist es nicht gelungen, die Herkunft der Schmelzkanälchen mit absoluter Sicherheit aufzudecken und, im Zusammenhang damit, schlüssige Beweise für eine Verbindung von Schmelzkanälchen und Dentinkanälchen zu finden.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit soll es sein, mit Hilfe rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen diesen Problemen nachzugehen.

III. Material und Methode

Die Untersuchung der Schmelzkanälchen bei Beuteltieren wurde exemplarisch an canini und molares des grauen Riesenkänguruhs (macropus giganteus) durchgeführt. Es wurden Makroaufnahmen des Untersuchungsmaterials mit einem Photapparat des Typs Canon A1 mit Makroobjektiv (50 mm) hergestellt.(Abb.1 und 2)

Die lichtmikroskopischen Untersuchungen wurden mit einem Leitz Photomikroskop durchgeführt. Es wurden Kodak Panatomic X Filme (16 DIN) verwendet.

Die dafür benötigten Dünnschliffe wurden wie folgt hergestellt:

1. Glutaraldehyd-Osmium-Fixierung
   a. Gewebe 6 h in 5% Glutaraldehyd legen
   b. auswaschen mit physiologischer NaCl Lösung
   c. 18 h in einen Phosphatpuffer geben
   d. 2 h fixieren mit OsO_4
   e. auswaschen mit physiologischer NaCl Lösung
   f. entwässern mit aufsteigender Alkoholreihe
   g. überspülen mit Styrol (3x30 min)
   h. für 1 h überführen in Mikropal/Styrol 1:1 (mit Katalysator und Aktivator)
   i. 24 h bei Zimmertemperatur in Mikropal legen (mit Katalysator und Aktivator)

j. überführen der Präparate in Gelatinekapseln, auffüllen mit Mikropal (mit Katalysator und Aktivator), 24 h bei 60 ° C stehen lassen, polymerisieren

2. Die Präparate wurden mit Hilfe einer Gesteinschneidemaschine in mehrere Schliffe zerlegt, die mit Sandpapier dünn geschliffen und mit Bimsstein und Schlämmkreide geglättet und poliert wurden. Anschließend wurden die Dünnschliffe auf Objektträger aufgebracht.

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden mit einem Cambridge Stereoscan 150 MK 2 durchgeführt. Die zu untersuchenden Zähne wurden gebrochen, denn nach Helmcke und Lenz brechen die Zähne entlang ihrer natürlichen Eigenstrukturen, wodurch deren Untersuchung erheblich erleichtert wird. Die Eigenstrukturen würden beim Schneiden oder Schleifen maskiert werden. Einige Präparate wurden mit 30%iger Phosphorsäure 30 bzw. 60 Sekunden angeätzt. Die Präparate wurden mit Neubauer Leit-C (Conductive Carbon Cement) auf Trägertellern befestigt und in einem Technics Hummer (Sputter Anlage) durch Gold-Ionen-Versprühung leitend gemacht (3x1 min. bei 50 - 100 Millitorr und 10 Milliampère).

IV. Ergebnisse

1. Untersuchungen mit dem Lichtmikroskop

Zur lichtmikroskopischen Betrachtung wurden Dünnschliffe hergestellt und auf Objektträger gebracht. Sowohl die Schmelzkanälchen als auch die Dentinkanälchen sind deutlich zu erkennen. Die Schmelzkanälchen verlaufen nahezu parallel zueinander, ebenso wie die Dentinkanälchen. Sie unterscheiden sich durch ihre Verlaufsrichtung, die bei den Schmelzkanälchen fast geradlinig ist, während sie bei den Dentinkanälchen einen leichten Bogen beschreibt. Der Durchmesser der Schmelzkanälchen beträgt ca. 1-2 µm, der der Dentinkanälchen ca. 2-3 µm und ist auf der gesamten Länge eines Kanälchens jeweils nahezu konstant. Beim Vergleich der einzelnen Kanälchen miteinander, ist jedoch eine Variationsbreite des Durchmessers von ca. 1 µm festzustellen (Abbildungen 3 und 4).

Die Dentinkanälchen durchziehen das gesamte Dentin von der Pulpa bis an die Schmelz-Dentin-Grenze. Von dieser 30-90 µm dicken Schicht ziehen die Schmelzkanälchen bis nahe an die Schmelzoberfläche. Sie enden ca. 15-60 µm unter der Schmelzoberfläche. Es ist nicht genau zu erkennen, ob die Schmelz-

kanälchen und die Dentinkanälchen an der Schmelz-Dentin-Grenze ineinander übergehen. Bei Tubusbewegungen sieht es fast so aus, jedoch ist dieses Ergebnis möglicherweise auf die mangelnde Tiefenschärfe des Mikroskopes und die Schwierigkeiten bei der Herstellung eines ausreichend dünnen Präparates zurückzuführen. Die Struktur der Grenzschicht zwischen Schmelz und Dentin macht einen sehr ungeordneten Eindruck, die an ihren Rändern allmählich in die geordnete Schmelz- bzw. Dentinstruktur übergeht.

Der Inhalt der Kanälchen ist nicht zu beurteilen, da die Auflösung des Lichtmikroskopes nicht ausreichend hoch ist. Aus dem gleichen Grund ist es nicht möglich, die Ultrastruktur von Schmelz und Dentin mit dem Lichtmikroskop zu unterscheiden.

2. Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop

Mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskopes ist die Ultrastruktur von Schmelz und Dentin deutlich voneinander zu unterscheiden. Während beim Lichtmikroskop das Bild des Schmelzes von Kanälchen beherrscht wird, tritt bei der Betrachtung mit dem Rasterelektronenmikroskop die räumliche Anordnung der Prismen und Kanälchen in den Vorder-

grund (Abbildungen 5 -10). Bei stärkerer Vergrößerung ist auch der mikrokristalline Aufbau der Prismen zu erkennen (Abbildung 9).

Vergleiche mit dem Dentin und Schmelz menschlicher Zähne ergeben im ultrastrukturellen Bereich beim Dentin keine nennenswerten Unterschiede, während sich beim Schmelz ein ganz anderes Bild offenbart. Beim menschlichen Schmelz liegen die Prismen dicht zusammen, sie verwachsen gewissermaßen miteinander, wohingegen der Schmelz der Känguruhs zwischen den einzelnen Schmelzprismen Hohlräume (Kanälchen) aufweist. Sie sind längs zur Verlaufsrichtung der Prismen angeordnet, da sich die benachbarten Prismen nicht an allen Stellen berühren.

Der Inhalt der Schmelzkanälchen war nicht zu beurteilen, weil es sich um getrocknete Präparate handelte. Außerdem ist zu bedenken, daß im Hochvakuum gearbeitet wurde, wobei etwa vorhandene Flüssigkeiten verdampft wären. Es wurden aber auch keinerlei organische Reste an den Wänden der Kanälchen gefunden, die auf einen Inhalt hätten schließen lassen.

Die Schmelzkanälchen verlaufen von der Schmelz-

Dentin-Grenze bis dicht unter die Schmelzoberfläche. Sie enden ca. 15-40 µm darunter. Dieser Wert ist niedriger als der mit dem Lichtmikroskop gefundene. Das ist gut an einer, bis zur Zahnoberfläche reichenden, Bruchfläche zu erkennen (Abbildungen 11 und 12).

Die Schmelzoberfläche weist demnach keine Öffnungen auf, sondern bildet einen dichten Abschluß der Schmelzkanälchen. Stellenweise sind jedoch leichte Einziehungen an der Schmelzoberfläche zu sehen (ca. 0,5 µm tief und 1-2 µm im Durchmesser), die das Ende eines Schmelzkanälchens andeuten könnten (Abbildungen 13 und 14). Durch Anätzen der Schmelzoberfläche vergrößern sich die Einziehungen, jedoch ist keine direkte Fortsetzung in ein Schmelzkanälchen zu erkennen (Abbildungen 15 und 16). Derartige Einziehungen sind auch bei menschlichem Zahnschmelz beobachtet worden, wo sie jedoch in erheblich größerer Zahl auftreten und deshalb als Endigungen der Prismenköpfe gedeutet werden.

Es sind auch Rillen in der Schmelzoberfläche zu bemerken. Sie lassen auf Abrasion während der Gebrauchsperiode schließen (Abbildungen 12 - 14).

Auch die Vermessung rasterelektronenmikroskopischer

Photografien erbringt signifikante Unterschiede zwischen Schmelz- und Dentinkanälchen. Allerdings ergeben sich auch, in Abhängigkeit von der räumlichen Lage der Meßpunkte innerhalb des Schmelzes, bzw. des Dentins, unterschiedliche Meßwerte für den Durchmesser der Kanälchen und ihren Abstand voneinander.

Die Schmelzkanälchen besitzen in der Nähe der Zahnoberfläche einen Durchmesser von 1,0-1,5 µm, der sich in Richtung auf die Schmelz-Dentin-Grenze bis auf Werte von 0,5 - 1,25 µm verringert. Der Abstand zwischen den einzelnen Kanälchen verringert sich nahezu proportional dazu von 1,5 - 3,0 µm nahe der Zahnoberfläche, auf 1,0 - 2,3 µm an der Schmelz-Dentin-Grenze (Abbildungen 17 - 18). Außerdem finden sich innerhalb eines einzelnen Kanälchens mehrer Stellen, an denen sich das Lumen, auf einer Strecke von 2 - 4 µm, um bis zu 0,3 µm verjüngt bzw. erweitert. Diese Unebenheiten an den Wänden der der Schmelzkanälchen werden durch Vorsprünge und Einziehungen an den Oberflächen der angrenzenden Kristallitenbündel hervorgerufen.

Die Dentinkanälchen besitzen in der Nähe der Schmelz-Dentin-Grenze einen Durchmesser von 1,3 - 2,2 µm, der sich in Richtung auf die Pulpa bis auf

Werte von 1,5 - 2,4 µm erweitert. Der Abstand der einzelnen Kanälchen verringert sich von 1,5 - 3,5 µm an der Schmelz-Dentin-Grenze, bis auf 1,2 - 2,5 µm an der Pulpa (Abbildungen 19 und 20).

An der Schmelz-Dentin-Grenze befinden sich ca. 300 Schmelzkanälchen pro Millimeter innerhalb des Schmelzes, aber nur ca. 250 Dentinkanälchen direkt gegenüber im Dentin (Abbildungen 21 und 22). Auf der gesamten Länge der Schmelz-Dentin-Grenze läßt sich kein direkter Übergang eines Dentinkanälchens in ein Schmelzkanälchen entdecken.

Die Form der Dentinkanälchen ist im Querschnitt nahezu rund, während die Schmelzkanälchen eckig sind (Abbildungen 23 - 26).

Die Wände der Dentinkanälchen sind relativ glatt, mit abgerundeten Vorsprüngen und Erhebungen, wohingegen die Schmelzkanälchen gezackte, zerklüftete Wände besitzen, sie stellenweise einen "gefiederten" Eindruck machen (Abbildungen 9 und 10).

Abbildungen:

Abbildungen:

1.) Makroskopische Aufnahmen

Abbildung 1:

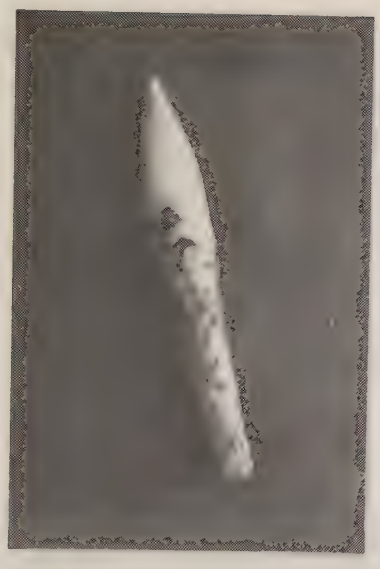
Aufnahme eines caninus von macropus giganteus

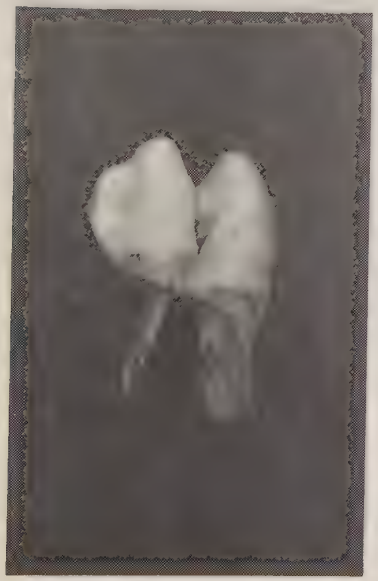
Vergrößerung 2 : 1

Abbildung 2:

Aufnahme eines Molaren von macropus giganteus

Vergrößerung 2 : 1





2.) Lichtmikroskopische Aufnahmen

Abbildung 3:

Vergrößerung 100 : 1

a = Schmelz

b = Schmelz-Dentin-Grenze

c = Dentin

Abbildung 4:

Vergrößerung 250 : 1

a = Schmelz

b = Schmelz-Dentin-Grenze

c = Dentin

Schmelz- und Dentinkanälchen, sowie ihre Verlaufsrichtung sind gut zu erkennen. Einige Kanälchen scheinen über die Schmelz-Dentin-Grenze hinweg miteinander in Verbindung zu stehen. Die Ultrastrukturen von Schmelz und Dentin sind jedoch nicht zu unterscheiden.

3. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen

Abbildung 5 :

Vergrößerung 940 : 1

Schmelz mit längs getroffenen Kanälchen

Abbildung 6 :

Vergrößerung 510 : 1

Dentin mit längs getroffenen Kanälchen

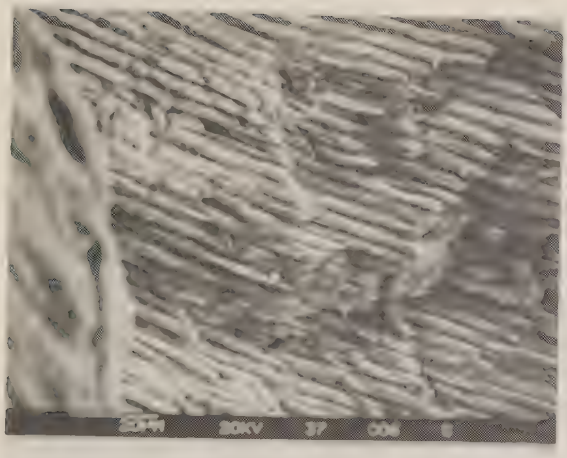

20kV
37

Abbildung 7:

Vergrößerung 1600 : 1

Zahnschmelz

Zwischen den einzelnen Prismen sind Kanäle erkennbar.

Abbildung 8:

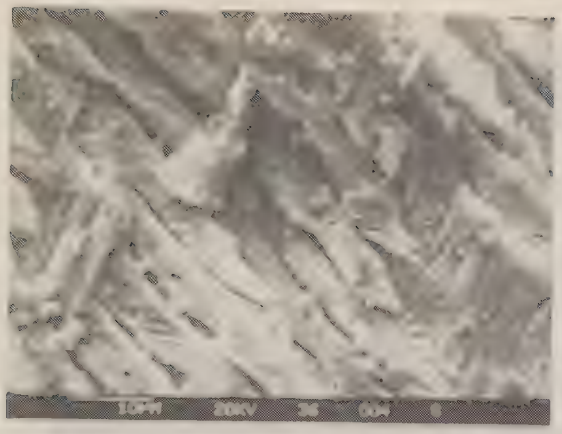
Vergrößerung 1600 : 1

Dentin

Man sieht auf die längs getroffenen Dentinkanälchen.

Es werden Unterschiede in der Ultrastruktur sichtbar. Beim Schmelz sieht man die Unterteilung der Prismen in einzelne Kristallite und die zwischen den Prismen verlaufenden Kanälchen.

Beim Dentin erkennt man die kompakte Grundsubstanz, durchzogen von den Dentinkanälchen.



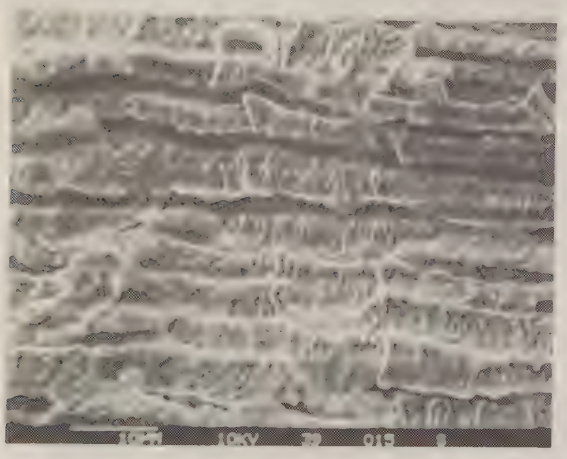


Abbildung 9:

Vergrößerung 4500 : 1

Schmelz mit längs getroffenen Kanälchen

Abbildung 10:

Vergrößerung 4500 : 1

Dentin mit längs getroffenen Kanälchen

Die Wände der Schmelzkanälchen sind stark zerklüftet. Das kommt durch die gefiederte Struktur der Prismen zustande. Die Kristallitenbündel berühren sich nicht überall.

Die Wände der Dentinkanälchen sind relativ glatt.

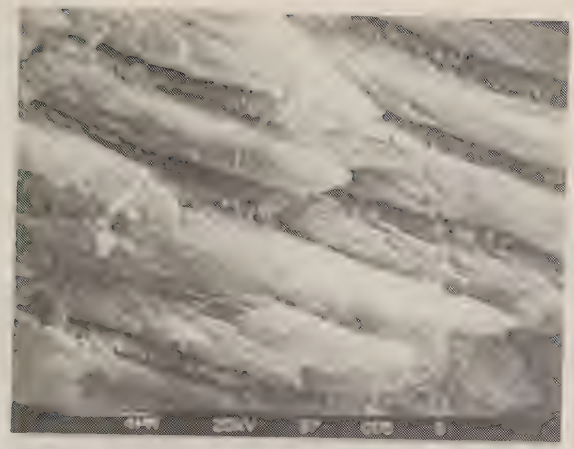


Abbildung 11:

Vergrößerung 450 : 1

Schmelzkante und Kanälchen längs getroffen

Die Schmelzkanälchen enden ca. 15-40 µm unter der Zahnoberfläche.

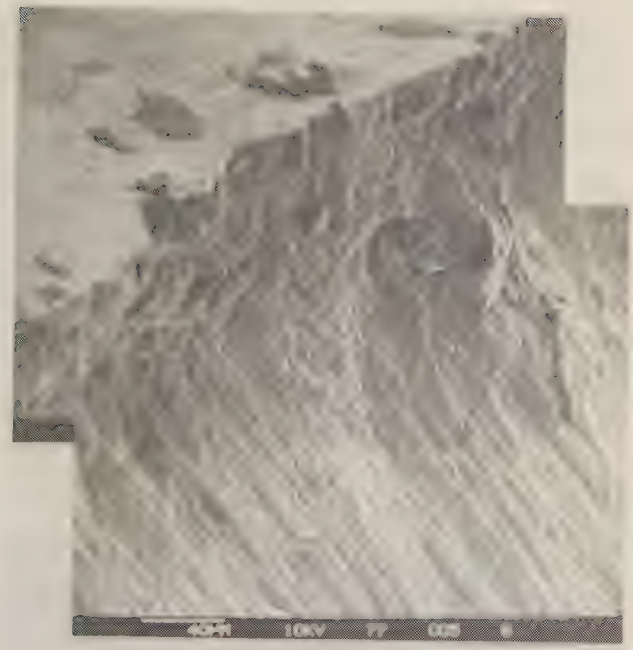
Abbildung 12:

Vergrößerung 480 : 1

Schmelzoberfläche mit Bruchkante

Die Rillen in der Schmelzoberfläche sind wahrscheinlich auf Abrasionen in der Gebrauchsperiode zurückzuführen.

Die Zahnoberfläche wird von einer kompakten Schmelzschicht gebildet, die alle Kanälchen abdeckt.



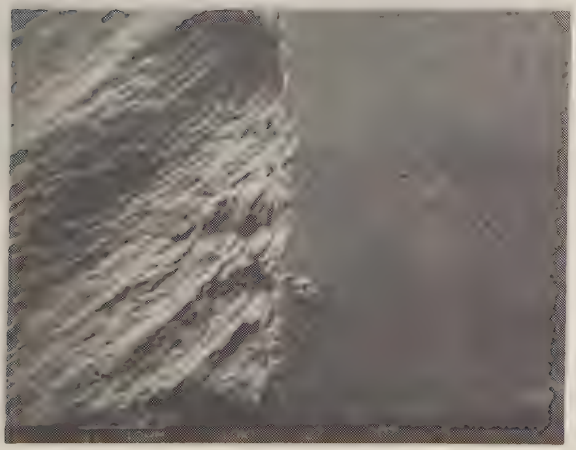


Abbildung 13:

Vergrößerung 1020 : 1

Schmelzoberfläche mit Plaqueauflagerungen und kleinen Einziehungen. Sie deuten möglicherweise das Ende eines Schmelzkanälchens an.

Abbildung 14:

Vergrößerung 4900 : 1

Schmelzoberfläche
Die Einziehungen im Schmelz haben einen Durchmesser von 1-2 µm. Sie sind in unregelmäßigen Abständen über die Zahnoberfläche verteilt.

Abbildung 15:

Vergrößerung 1000 : 1

Schmelzoberfläche 30 sec angeätzt

Abbildung 16:

Vergrößerung 1000 : 1

Schmelzoberfläche 60 sec angeätzt

Nach 30 sec Anätzen sind die Einziehungen vergrößert und nach 60 sec Anätzen sind die Lumina einiger Schmelzkanälchen zu erkennen.

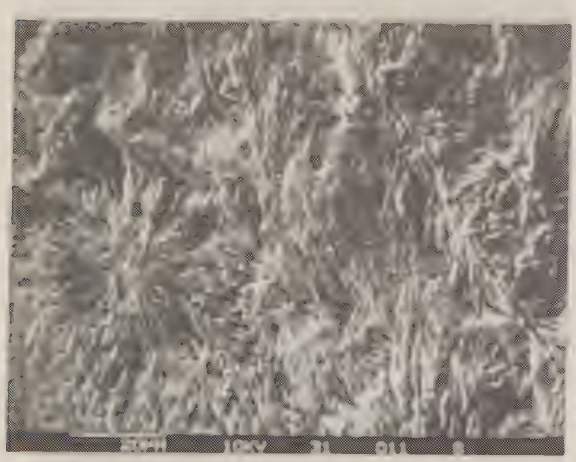


Abbildung 17:

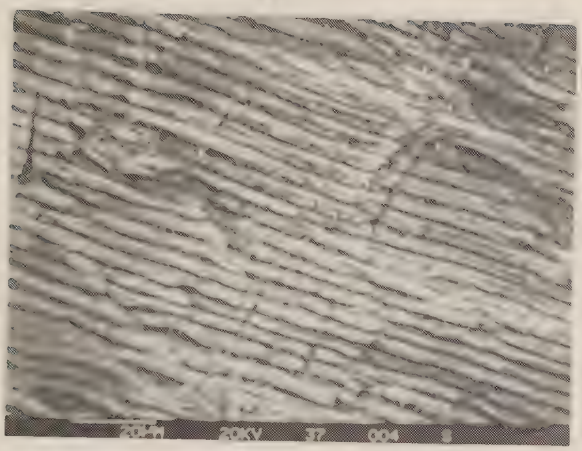
Vergrößerung 920 : 1

Schmelzkanälchen in der Nähe der Schmelz-Dentin-Grenze

Abbildung 18:

Vergrößerung 2000 : 1

Schmelzkanälchen in der Nähe der Zahnoberfläche



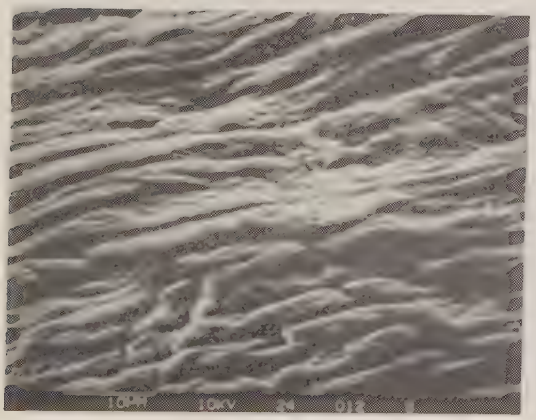


Abbildung 19:

Vergrößerung 1060 : 1

Dentinkanälchen in der Nähe der Schmelz-Dentin-Grenze

Abbildung 20:

Vergrößerung 520 : 1

Dentinkanälchen in der Nähe der Pulpa (längs und quer)

Die Dentinkanälchen sind Aussparungen in einer kompakten Grundsubstanz. Sie sind nahezu rund und haben einen fast konstanten Abstand zueinander.

Abbildung 21:

Vergrößerung 200 : 1

Dentinkanälchen an der Schmelz-Dentin-Grenze

ca. 25 Kanälchen/100 µm

Abbildung 22

Vergrößerung 200 : 1

Schmelzkanälchen an der Schmelz-Dentin-Grenze

ca. 30 Kanälchen/100 µm

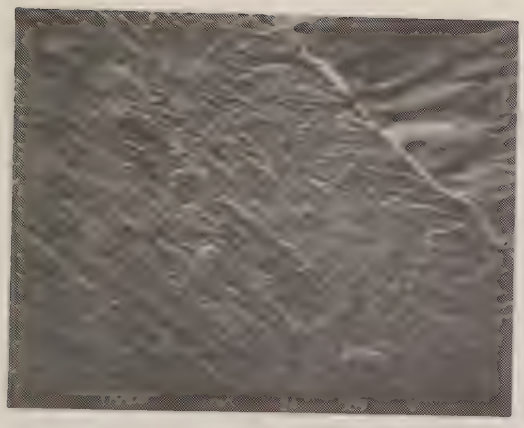


Abbildung 23:

Vergrößerung 1060 : 1

Dentinkanälchen an der Pulpa quer getroffen

Abbildung 24:

Vergrößerung 5200 : 1

Dentinkanälchen an der Pulpa quer getroffenen

Die Kanalwände sind relativ glatt

Abbildung 25:

Vergrößerung 2000 : 1

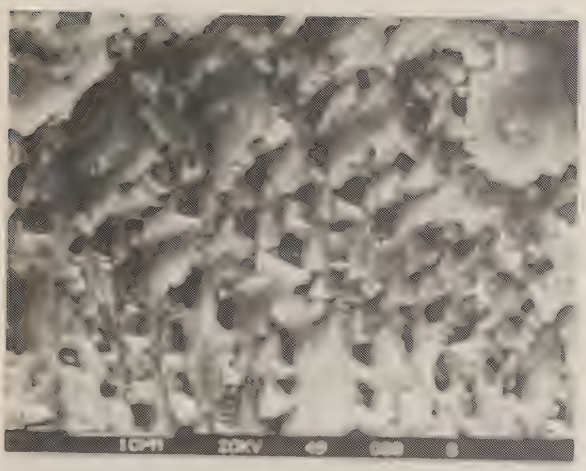
Schmelzkanälchen quer getroffen

Abbildung 26:

Vergrößerung 5400 : 1

Schmelzkanälchen quer getroffen

Die Schmelzkanälchen sind im Querschnitt unregelmäßig eckig. Es sind keine Reste einer organischen Matrix zu sehen. Die auf den Bildern erkennbaren Bröckchen sind Schmelzsplitter, die beim Brechen des Präparates entstanden sind.



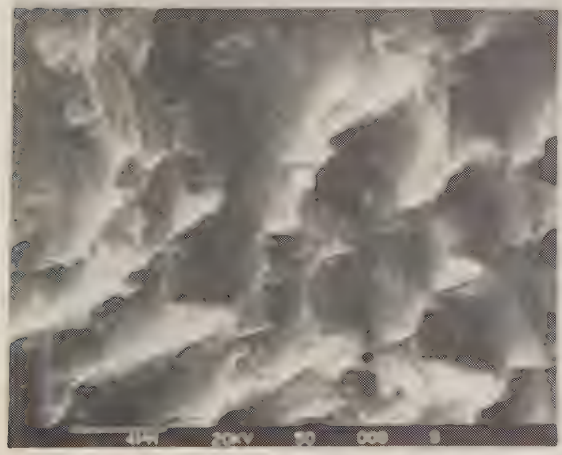


Abbildung 27:

Vergrößerung 2000 : 1

Zahnschmelz an einer Bruchkante

Abbildung 28:

Vergrößerung 1800 : 1

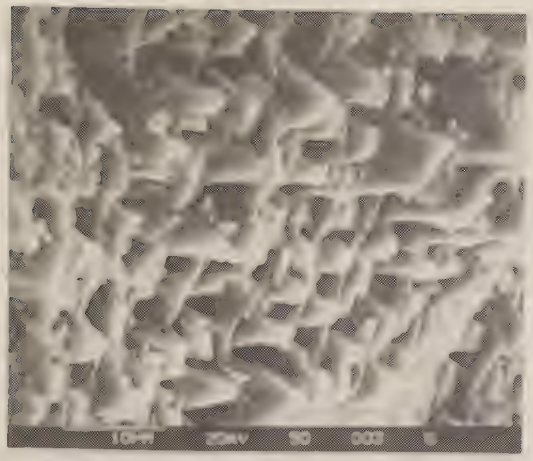
Zahnschmelz in der Nähe der Zahnoberfläche

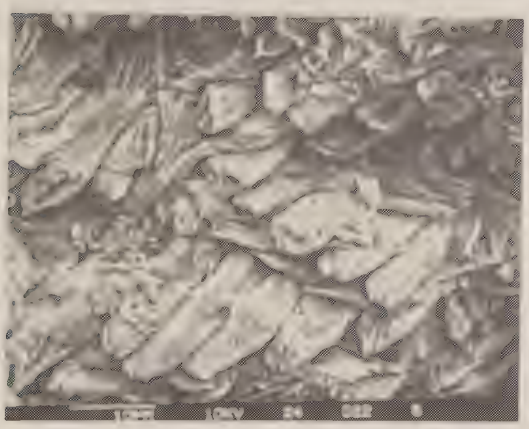
Abbildung 29:

Verkleinerung 1 : 10

Holzscheite, gestapelt

Bisweilen ähnelt der Schmelzaufbau der Känguruhs einem Holzstapel





V. Diskussion

Im Lichtmikroskop ist die Beurteilung der Schmelz- und Dentinkanälchen, sowie besonders der Schmelz-Dentin-Grenze, tatsächlich sehr schwierig, denn die Brechungsindizes von Schmelz und Dentin sind so ähnlich, daß sie optisch nur schwer voneinander zu trennen sind. Außerdem werden Schmelz- und Dentinstrukturen durch Summationseffekte in eine Ebene projiziert, da die Tiefenschärfe des Mikroskopes nicht so groß ist wie die Dicke des Objektes. Dadurch kann der Eindruck entstehen, daß Schmelz- und Dentinkanälchen stellenweise ineinander übergehen. Außerdem könnte eine Verfälschung dadurch zustande kommen, daß die Schliffebene des Präparates schräg zur Schmelz-Dentin-Grenze verläuft, wodurch Schmelz- und Dentinschichten übereinander projiziert werden würden (Abbildungen 3 und 4).Ein möglicher Inhalt der Kanälchen ist bei der geringen Vergrößerung im Lichtmikroskop nicht zu erkennen. Auch die Kanalstrukturen von Schmelz- und Dentinkanälchen sind lichtmikroskopisch nicht gegeneinander abzugrenzen.

Im Rasterelektronenmikroskop sind die typischen Unterschiede in der Ultrastruktur von Schmelz und Dentin gut zu erkennen (Lenz 1979), besonders wenn die Präparate gebrochen werden. Das Dentin besteht aus einer kompakten Grundsubstanz, während der Zahnschmelz

aus Kristalliten besteht, die zu Kristallitenbündeln zusammengefaßt sind. Bis hierher gibt es keinen Unterschied zwischen den menschlichen Zahnhartsubstanzen und denen der Känguruhs. Jedoch berühren sich die Kristallitenbündel im Schmelz der Känguruhs nicht überall, wodurch die Kanälchen entstehen, die sich somit zwischen den Kristallitenbündeln befinden (Abbildungen 7 und 8). Das wird besonders bei quergetroffenen Kanälchen deutlich. Sie sind mit den Hohlräumen vergleichbar, die beim Aufschichten von Holzstämmen entstehen (Abbildungen 27 bis 29). So konnte für jedes Kanälchen eine eindeutige Zugehörigkeit zum Schmelz oder Dentin bestimmt werden.

Anhand der jetzt durchgeführten Untersuchungen konnte bewiesen werden, daß die Schmelz- und Dentinkanälchen nicht über die Schmelz-Dentin-Grenze hinweg miteinander verbunden sind, denn erstens ist nirgendwo ein direkter Übergang zu sehen und zweitens sind die Kanälchen, was die Struktur ihrer Wände, ihre Form, ihre Größe und ihre Anzahl betrifft, grundverschieden voneinander.

Seit John Tomes (1849) die Kanälchen entdeckte, gingen die Forscher davon aus, daß es eine Verbindung zwischen Schmelz- und Dentinkanälchen gibt. Selbst Boyde und Lester (1967) ließen sich von den bekannten lichtmikroskopischen Ergebnissen dazu verleiten, ihre REM-Ergebnisse in diesem Sinne fehlzuinterpretieren.

Die von ihnen angeführten Stereobilder sind kein Beweis für einen Übergang der Dentinkanälchen in die Schmelzkanälchen, da, mit einem stereoskopischen Vergrößerungsglas betrachtet, direkt an der Schmelz-Dentin-Grenze eine deutliche Stufe zu erkennen ist. Somit liegt die Fortsetzung der gezeigten Dentinkanälchen auf einer ganz anderen Ebene. Außerdem ignorierten sie das negative Ergebnis ihrer Diffusionsversuche.

Damit können solche Aufnahmen auch nicht als Beweis dafür angeführt werden, daß die Kanälchen dentinalen Ursprungs sind, wie einige Autoren das tun (Gustavsen /1972, S.Risnes und G.Fosse/1974). Denn wären die Schmelzkanälchen Verlängerungen der Dentinkanälchen, so müßten zumindest Reste der Verlängerungen der Odontoblastenfortsätze in den Schmelzkanälchen zu finden sein. Das ist aber nicht der Fall.

Würden die Dentin- in die Schmelzkanälchen übergehen, so müßte ihre Zahl in etwa übereinstimmen oder, falls nicht alle Dentinkanälchen die Schmelz-Dentin-Grenze überqueren, müßten weniger Schmelzkanälchen vorhanden sein. In Wirklichkeit ist es jedoch umgekehrt:
An der Schmelz-Dentin-Grenze stehen auf einer Strecke von einem Millimeter ca. 250 Dentinkanälchen ca. 300 Schmelzkanälchen gegenüber (Abbildungen 21 und 22).

Es ist auch kaum vorstellbar, daß ein runder, glatter Odontoblastenfortsatz im sich mineralisierenden Schmelz die Bildung eines eckigen Kanälchens mit gezackten Wänden induziert, nachdem er zuerst aktiv die Basalmembran durchbrochen hat (Abbildungen 24,26 und 9). Nach Einsenken des inneren Schmelzepithels in das mesenchymale Gewebe, aus dem sich später die Pulpa entwickelt, und gegenseitig induzierter Bildung von Odontoblasten und Ameloblasten, wird zuerst eine Dentinscherbe mineralisiert, die wiederum die Bildung einer Schmelzscherbe induziert, die in statu nascendi mineralisiert wird und von den Odontoblastenfortsätzen auch sofort durchbrochen werden müßte, wenn die These vom dentinalen Ursprung der Schmelzkanälchen zutreffen würde.

Der These vom ameloblastischen Ursprung der Schmelzkanälchen (Lester 1970) stehen die Beobachtungen von S.Risnes und G.Fosse (1974) entgegen, die entdeckt hatten, daß die Verlaufsrichtung der Kanälchen und der angrenzenden Prismen nicht überall gleich sind. Stellenweise kreuzen Kanälchen ein bis drei Prismen. Das wäre nicht möglich, wenn, wie damals angenommen, ein Ameloblast ein Schmelzprisma und ein Schmelzkanälchen bilden würde.

Diese Annahme geht zurück auf von Ebner, der im inneren

Schmelzepithel keine Zellteilungen fand und daraus schloß, daß Prismen primäre Strukturen seien, die aus den Ameloblasten in einem Verhältnis von 1:1 hervorgingen.

Neuere elektronenmikroskopische Untersuchungen ergaben jedoch Zweifel an dieser Annahme. Helmcke und Lenz sehen in den Prismen sekundäre Strukturen, die, induziert von den Ameloblasten, durch Ausrichtung der Apatitkristalle während der Mineralisation zustande kommen. Doch auch mit dieser Theorie ist nicht vereinbar, daß einige Kanälchen mehrere Prismen überqueren, wenn Prisma und Kanälchen von einem Ameloblasten gebildet werden würden. Geht man jedoch davon aus, daß die Kanälchen eine Minderminerализation darstellen und der Ameloblast lediglich die Prismenbildung induziert, so ist eine Änderung der Verlaufrichtung bei einigen Kanälchen durchaus vorstellbar.

Die Schmelzkanälchen enden ca. 15 bis 40 µm unter der Zahnoberfläche und werden von einer kompakten Schmelzschicht bedeckt. Möglicherweise wird diese Mineralisation durch exogene Faktoren, zum Beispiel Speichel oder bestimmte Nahrungsbestandteile, sekundär ausgelöst, zum Schutz des Zahnes. Das würde zumindest den unterschiedlich dicken Verschluß der einzelnen Kanälchen erklären, der gegen alleinige genetische

Determination spricht (Abbildungen 11 und 12).

Als Schlußfolgerung der hier diskutierten Fakten entstand die Meinung, daß die Schmelzkanälchen weder ein Produkt der Odontoblasten noch ein Produkt der Ameloblasten sind. Rasterelektronenmikroskopische Bilder legen den Schluß nahe, daß die Kristallitenbündel im Zahnschmelz der Känguruhs sich nicht überall berühren, wodurch Lücken entstehen, die die Kanälchen bilden und in ihrem Erscheinungsbild den Verhältnissen bei Amelogenesis imperfecta ähneln. Die Kristallitenbündel sind nicht so dicht aneinander gepackt wie zum Beispiel im menschlichen Zahnschmelz. Es handelt sich also vielmehr um eine regelmäßige Minderminerализation im Zahnschmelz der Marsupialia, die im Laufe der Phylogenese im Genotyp dieser Tiere verankert wurde.

Auf der Suche nach den stammesgeschichtlichen Urformen des Zahnschmelzes, stößt man zuerst auf die noch recht primitive Zahnform der Fische. Sie besitzen nur eine sehr dünne Schmelzschicht, die von C.Tomes (1874) noch als "Vitrodentin" und W.J.Schmidt (1938) als "Durodentin" bezeichnet wurde. Im Gegensatz dazu besitzen die höher entwickelten Säugetiere eine dicke, geordnete Schmelzschicht. Diese Verhältnisse helfen zu verstehen, warum die Beuteltiere, als eine primitive

Form der Säugetiere, Minderminerализationen im Zahnschmelz aufweisen. Die Ausbildung des Zahnschmelzes kann offenbar auch mit ein Indikator für die stammesgeschichtliche Entwicklungsstufe einer Art sein. Die Tatsache, daß der Wombat von dieser Regel ausgenommen ist, könnte eine eigenständige Weiterentwicklung dieser Rasse der Beuteltiere darstellen.

VI. Zusammenfassung

Zahnschmelz und Dentin von Känguruhs wurden licht- und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Das besondere Augenmerk war auf die Schmelzkanälchen, ihre Beziehung zu den Dentinkanälchen und ihre Entstehung gerichtet. Entgegen der bisherigen Literatur konnte weder ein odontoblastischer, noch ein ameloblastischer Ursprung der Schmelzkanälchen gefunden werden. Es besteht keine Verbindung zwischen Schmelz- und Dentinkanälchen. Die Schmelzkanälchen verdanken ihre Entstehung wahrscheinlich einer genetisch determinierten Minderminerализation.

VII. Literaturverzeichnis

1.)Boyde, A.; Lester, K.S.: The Structure and Development of Marsupial Enamel Tubules. Zeitschrift für Zellforschung 82, 558-576 (1967)

2.)Brännström, M.; Gola, G.; Nordenvall, L.J.; Torstenson, B.: Invasion of Microorganisms and some Structural Changes in Incipient Enamel Caries. Caries Research 14: 276-284 (1980)

3.)de Terra, Paul: Vergleichende Anatomie des menschlichen Gebisses und der Zähne der Vertebraten S. 248 ff. (1911)

4.)Fosse, G.: Development of the Teeth in a Pouch-Young Specimen of Sminthopsis Crassicaudata. Dasynsidae: Marsupialia. Archs oral Biol. Vol. 14, pp. 207-218 (1969)

5.)Fosse, G.; Holmbakken, N.: Fibrils in Marsupial Enamel Tubules. zeitschrift für Zellforschung 115, 341-350 (1971)

6.)Gustavsen, F.: The Fine Structur of Dental Enamel and Coronal Cementum of the Kangaroo. University of Bergen (1972)

7.)Lenz, H.: Die Auswirkung physiologischer und pathologischer Einflüsse auf die Struktur des Dentins während der Dentinbildung und die elektronenmikroskopisch zu beobachtenden Veränderungen des gebildeten Dentins. 1. int. Quintessence Symposium (1979).

8.)Leonhardt, Helmut: Histologie, Zytologie und Mikroanatomie des Menschen. S. 358 ff. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1977)

9.)Lester, K.S.: On the Nature of "Fibrils" and Tubules in Developing Enamel of the Opossum, Didelphis Marsupialis. J.Ultrastruct.Res.30: 64-77 (1970)

10.)Nishijima, S.; Akai, M.; Nagasue, T.: The Study on the Dental Hard Tissue Structure of the Marsupial Teeth. J.Osak Univ.Dent.Soc. 284-286 (1975)

11.)Osborn, J.W.: The Relationship Between Prisms and Tubules in the Teeth of Didelphis Marsupialis and the Probable Origin of the Tubules. Arch.Oral Biol., 19 (10) 835-844 (1974)

12.)Palamara, J.; Phakey, P.P.; Rachinger, W.A.; Orams, H.J.: Electron. Microscope Study of the Dentine-Enamel Junctions of Kangaroo (Macropus giganteus) Teeth Using Selected-Area Argon-Ion-Beam Thinning. Bell Tissue Res., 221 (2) 405-419 (1981)

13.)Palamara, J.; Phakey, P.P.; Rachinger, W.A.; Orams, H.J.: The Ultrastructure of Enamel and its Black Spots Defekt. Aust.J.Zool. 29 (5) 643-652, (1981)

14.)Proell, F.: Die phylogenetisch bedingte Schmelz-

Pulpa-Relation bei der Entwicklung des Schmelzes und die sich daraus ergebenden Folgerungen für den fertigen Zahn. D.Z.Z., 9. Jg., H.5, 249 - 266, (1981)

15.)Risnes, S.; Fosse, G.: The Origin of Marsupial Enamel Tubules. Acta anat. 87, 275-282, (1972)

16.)Schmidt, W.J.: Wandlungsvorgänge am Zahnbein der Fische. Nachr. der Gießener Hochsch., Bd. 17, 111-124, (1948)

17.)Tomes, C.S.: On the Development of Marsupial and other Tubular Enamels, with Notes upon the Development of Enamel in General. Phil.Trans. B 189, 107-122 (1897)

18.)Tomes, J.: On the Structure of the Dental Tissues of Marsupial Animals, and more Especially of the Enamel. Phil.Trans. B 139, 403-412 (1849)

19.)Weidenreich, Franz: Über den Bau und die Entwicklung des Zahnbeines in der Reihe der Wirbeltiere. Z.f. Anat. und Entw.Gesch. 76, 218-260 (1925)

20.)Weidenreich, Franz: Über den Schmelz der Wirbeltiere und seine Beziehung zum Zahnbein. Z.f. Anat. und Entw. Gesch. 79, 292-351 (1926)

21.)Weidenreich, Franz: Die Hartsubstanzgewebe des Zahnes in Phylogenetischer Betrachtung. Paradentium 2.Jg., Nr. 7, 195-208, (1930)

Für die Überlassung des Dissertationsthemas und für seine freundliche und stete Hilfsbereitschaft bei der Durchführung dieser Arbeit möchte ich Herrn **Professor Dr. Hans Lenz** recht herzlich danken.

Ebenso gilt mein Dank Frau Jutta Butzengeiger, Frau Birgit Scheidereiter und Frau Anne-Dore Kähler für die Hilfe bei den rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen und den phototechnischen Arbeiten.

Für die moralische Unterstützung und die Reinschrift der Arbeit danke ich meiner Mutter und Frau Christiane Reim.

Lebenslauf

Am 29. März 1961 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Dr. Hans-Joachim Sitte und seiner Frau, der Dolmetscherin Ursula Sitte, geb. Ludwig, in Berlin geboren.

Von 1967 bis 1973 besuchte ich die Ernst-Habermann-Grundschule in Berlin-Wilmersdorf. Von 1973 an besuchte ich die Marie-Curie-Oberschule (Gymnasium) in Berlin-Wilmersdorf, wo ich am 28. Juni 1979 die Reifeprüfung ablegte.

Zum Wintersemester 1979/80 immatrikulierte ich mich an der Freien Universität Berlin am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Am 14. März 1985 erhielt ich die Approbation als Zahnarzt.

Seit dem 01. Mai 1985 bin ich als Assistent in einer Berliner Praxis tätig.

Papyrus-Druck GmbH Berlin ☎ 3416451
Dissertationen